醋糟和发酵醋糟在蛋鸡上的营养价值评定

杨耀翔　董晓芳*　佟建明

（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，北京 100193）

摘　要：本研究旨在对醋糟和发酵醋糟在蛋鸡上的营养价值进行比较与评价。选取 47 周龄的海兰褐蛋鸡 56 只，随机分为 7 个组，每组 8 个重复，每个重复 1 只鸡。组 1（对照组）饲喂玉米–豆粕型基础饲粮，组 2~4 饲喂由醋糟分别替代 10%、15%和 20%基础饲粮的试验饲粮，组 5~7 饲喂由发酵醋糟分别替代 10%、15%和 20%基础饲粮的试验饲粮。预饲 5 d 后，进行 6 d 的代谢试验。结果表明：饲粮的总能和干物质表观代谢率随醋糟或发酵醋糟替代比例的增加而下降，且各组间差异显著（$P<0.05$）。与对照组相比，不同醋糟或发酵醋糟替代比例均使饲粮的表观代谢能和粗蛋白质表观代谢率显著降低（$P<0.05$），粗纤维表观代谢率显著提高（$P<0.05$）。采用套算法测定醋糟和发酵醋糟的可利用养分含量时发现，醋糟和发酵醋糟的可利用养分含量无显著差异（$P>0.05$），但发酵醋糟的可利用养分含量有改善趋势，说明醋糟经过混菌发酵后能提高其养分在蛋鸡上的利用率。用套算法评价醋糟和发酵醋糟在蛋鸡上的营养价值时，建议醋糟和发酵醋糟的替代比例为 20%。

关键词：醋糟；发酵醋糟；蛋鸡；营养价值

中图分类号：S816.6　　　　　文献标识码：　　　　　文章编号：

随着畜牧业的不断发展，饲料资源匮乏已经成为制约我国畜牧业稳定可持续发展的重要瓶颈，开发利用非常规饲料资源越来越受到人们的重视。醋糟是以淀粉质原料为主料经固体发酵生产食醋过程中得到的固体废弃物[1-2]。我国是产醋大国，2015 年我国食醋产量为 400 万 t[3]，按照生产 1 t 标准固态发酵二级食醋产生 0.8 t 醋糟计算[4]，2015 年我国鲜醋糟产量为 320 万 t。醋糟作为一种糟渣类粮食副产品，是我国重要的非常规饲料原料之一。目前已有一部分醋糟应用于畜禽饲粮中，但利用率很低，而大部分醋糟尚未被充分利用，这样不仅造成资源浪费，还会造成一定的环境污染，因此，开发和利用醋糟具有重要意义。

收稿日期：2017-12-09

基金项目："十二五"国家科技支撑计划课题（2013BAD10B04）；中国农业科学院科技创新工程（ASTIP-IAS08）；国家蛋鸡产业技术体系建设专项经费（CARS-41-K16）

作者简介：杨耀翔（1991—），男，山西柳林人，硕士，从事家禽营养与饲料科学研究。E-mail: yyx1859@163.com

*通信作者：董晓芳，副研究员，硕士生导师，E-mail: xiaofangd1124@sina.com

关于醋糟和发酵醋糟在畜禽饲粮中的应用已有报道，Song 等[5-6]研究表明，饲粮中添加 4%醋糟可以显著降低蛋鸡的氮排泄量，调节蛋鸡回肠和盲肠中的微生物多样性。花卫华等[7]研究表明，饲粮中添加 15%和 25%醋糟能显著提高羔羊的平均日增重。马希景等[8]研究表明，饲粮中添加 20%醋糟能显著降低肉兔的饲粮成本，提高养兔效益。曹亮[9]研究表明，饲粮中添加 14%醋糟能显著提高獭兔的日增重。陈永霞等[10]研究表明，用 20%干醋糟替代青糠饲喂体重大于 40 kg 的仔猪，日增重增加但不显著。醋糟的粗蛋白质含量较低，粗纤维含量较高，将其作为粗饲料饲喂非反刍动物时适口性差，消化率低[11]。为了降低粗纤维含量，提高粗蛋白质含量，通过微生物发酵改善醋糟的营养价值成为研究热点。本项目组前期研究表明，醋糟经混合菌发酵后其还原糖含量提高了 170.00%，纤维素、半纤维素、木质素和粗纤维含量分别降低了 19.43%、68.97%、19.64%和 29.02%[12]。另外，醋糟和发酵醋糟的营养价值评定体系不够完善，这可能也是醋糟和发酵醋糟在禽类饲粮中应用较少的原因之一。本试验通过评价醋糟和发酵醋糟在蛋鸡上的营养价值，为科学配制禽类饲粮和促进醋糟资源的合理利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

醋糟：采集于山西东湖醋业有限公司，种类为黑醅醋糟；发酵醋糟：采用黄孢原毛平革菌（*Phanerochaete chrysosporium*）ACCC30414、康氏木霉（*Trichoderma koningii*）CGMCC3.2878、黑曲霉（*Aspergillus niger*）ACCC30557 和无花果曲霉（*Aspergillus ficuum*）NTG-234 种真菌，按照本实验室的优化工艺参数对上述黑醅醋糟进行 5 d 固态发酵[13]，得到发酵醋糟。醋糟和发酵醋糟的营养成分见表 1。

表 1 醋糟和发酵醋糟的营养成分（风干基础）

Table 1 Nutrient composition of vinegar residue and fermented vinegar residue (air-dry basis) %

项目 Items	醋糟 Vinegar residue	发酵醋糟 Fermented vinegar residue
总能 GE/(MJ/kg)	17.94	18.70
干物质 DM	91.12	95.69
粗蛋白质 CP	10.23	12.28

粗脂肪 EE	2.80	4.70
粗灰分 Ash	7.50	10.40
粗纤维 CF	44.80	43.30
纤维素 Cellulose	37.53	37.00
半纤维素 Hemicellulose	21.31	7.14
淀粉 Starch	0.70	1.08

1.2 试验设计与饲养管理

本试验采用套算法测定醋糟和发酵醋糟的养分表观代谢率和表观代谢能。选择体重相近、采食和产蛋正常的 47 周龄海兰褐蛋鸡 56 只，随机分为 7 个组，每组 8 个重复，每个重复 1 只鸡。组 1（对照组）饲喂玉米-豆粕型基础饲粮，组 2~4 饲喂由醋糟分别替代 10%、15%和 20%基础饲粮的试验饲粮，组 5~7 饲喂由发酵醋糟分别替代 10%、15%和 20%基础饲粮的试验饲粮。预试期 5 d，正试期 6 d。预试期最后 1 d 的 19:00 结料，结料后立即给蛋鸡饲喂相应的试验饲粮，并换上新的粪盘以便收集排泄物。

饲养试验在中国农业科学院北京畜牧兽医研究所昌平基地进行。于试验开始和结束时对试验鸡进行个体称重。试验鸡自由采食和饮水，光照时间为每天 16 h，采用自然光照加人工补光。每天喂料 3 次，按重复称取新鲜饲料[120 g/（d • 只）]，每个重复 1 个料桶，桶上标明组号和重复号。每天记录鸡舍温度、湿度，观察鸡只健康状况。

1.3 试验饲粮

选用玉米-豆粕型基础饲粮，参照 NRC（1994）推荐的蛋鸡营养需要量配制粉状配合饲料。基础饲粮组成及营养水平见表 2。

表 2 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 2 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	64.00
豆粕 Soybean meal	24.00
豆油 Soybean oil	1.00

石粉 Limestone	8.50
次粉 Wheat middlings	0.70
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.20
食盐 NaCl	0.30
氯化胆碱 Choline chloride	0.05
蛋氨酸 Met	0.10
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	0.05
微量元素预混料 Trace mineral premix[2)]	0.10
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[3)]	
总能 GE/(MJ/kg)	15.42
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.51
粗蛋白质 CP	16.36
粗脂肪 EE	3.90
粗灰分 Ash	11.10
粗纤维 CF	3.80
中性洗涤纤维 NDF	11.28
酸性洗涤纤维 ADF	3.41
钙 Ca	3.38
磷 P	0.53

1) 维生素预混料为每千克饲粮提供 The vitamin premix provided the following per kg of the diet: VA 8 000 IU，VD_3 3 000 IU，VE 15 IU，VK 2 mg，VB_1 2 mg，VB_2 4 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.01 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 12 mg，烟酸 nicotinic acid 40 mg，叶酸 folic acid 1 mg，生物素 biotin 0.1 mg，胆碱 choline 212.5 mg。

2) 微量元素预混料为每千克饲粮提供 The trace mineral premix provided the following per kg of the diet: Mn (as manganese sulfate) 63.6 mg，Zn (as zinc sulfate) 69 mg，Fe (as ferrous sulfate) 30 mg，Cu (as copper sulfate) 6.25 mg，I (as potassium iodide) 0.4 mg，Se (as sodium

selenite) 0.2 mg。

3）代谢能为计算值，其余为实测值。ME was a calculated value, and the others were measured values.

1.4　样品采集与处理

采用全收粪法收集粪尿。正试期间，排泄物以重复为单位收集，每天 11：00、19：00 各收集 1 次。收集时清除粪盘中的鸡毛、皮屑和饲料后，将鸡粪无损地刮入自封袋中称重，按每 100 g 粪中加 10 mL 10%的盐酸以防氨氮损失[13]。待收集结束后将 6 d 的粪尿混合均匀，置于烘箱中 65 ℃烘干至恒重，室温回潮 24 h 后称重并记录，保存待测。

1.5　测定指标与计算方法

1.5.1　饲粮和粪样中营养成分

测定各组饲粮及粪样中总能及干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、粗纤维、酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量。总能的测定参照 ISO 98311998；干物质含量的测定参照 GB/T 6435-2014；粗蛋白质含量的测定参照 GB/T 6432-1994；粗脂肪含量的测定参照 GB/T 6433-2006；粗灰分含量的测定参照 GB/T 6438-2007；粗纤维含量的测定参照 GB/T 6434-2006；酸性洗涤纤维含量的测定参照 NY/T 1459-2007；中性洗涤纤维含量的测定参照 GB/T 20806-2006。

1.5.2　饲粮待测养分表观代谢率、表观代谢能以及醋糟和发酵醋糟可利用养分含量[1]

饲粮中某养分表观代谢率参照全收粪法计算，公式如下：

某养分表观代谢率（%）=[(食入养分量-粪中养分量)/食入养分量]×100。

醋糟和发酵醋糟中某养分表观代谢率通过套算法计算，公式如下：

$$D=[（A-B）/F]+B。$$

式中：D 为醋糟或发酵醋糟中某养分的表观代谢率（%）；A 为试验饲粮中某养分的表观代谢率（%）；B 为基础饲粮中某养分的表观代谢率（%）；F 为试验饲粮养分中醋糟或发酵醋糟中同名养分所占比例（%）。

饲粮、醋糟和发酵醋糟的表观代谢能计算公式如下：

表观代谢能=总能×能量表观代谢率。

醋糟和发酵醋糟中可利用养分含量的计算公式如下：

醋糟或发酵醋糟中可利用养分含量=醋糟或发酵醋糟中各养分含量×醋糟或发酵醋糟中各养分的表观代谢率。

1.6 数据统计与分析

采用 SAS 9.3 统计软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA）和独立样本 *t* 检验，以 $P<0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结　果

2.1 饲粮和粪样中营养成分

饲粮和粪样中营养成分见表 3 和表 4。

表 3　饲粮中营养成分（风干基础）

Table 3　Nutrient composition of diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	组 1 Group 1	组 2 Group 2	组 3 Group 3	组 4 Group 4	组 5 Group 5	组 6 Group 6	组 7 Group 7
总能 GE/(MJ/kg)	15.42	14.94	15.25	15.92	15.55	15.89	16.15
干物质 DM	89.31	90.12	89.98	90.04	90.03	90.30	90.56
粗蛋白质 CP	16.36	15.53	15.85	15.70	16.53	16.43	16.54
粗脂肪 EE	3.90	3.30	3.50	3.40	3.70	3.80	3.80
粗灰分 Ash	11.10	11.90	12.60	11.50	11.30	11.50	10.50
粗纤维 CF	3.80	8.50	10.50	13.10	8.50	8.60	11.60
中性洗涤纤维 NDF	11.28	15.08	18.52	19.48	16.39	17.51	20.88
酸性洗涤纤维 ADF	3.41	7.60	10.07	11.51	8.96	11.29	14.22

表 4　粪样中营养成分（风干基础）

Table 4　Nutrient composition of feces (air-dry basis)　　%

项目 Items	组 1 Group 1	组 2 Group 2	组 3 Group 3	组 4 Group 4	组 5 Group 5	组 6 Group 6	组 7 Group 7
总能 GE/(MJ/kg)	13.25±0.43	14.45±0.51	15.43±0.34	15.23±0.40	15.00±0.34	15.69±0.20	16.13±0.17
干物质 DM	95.37±0.87	94.83±0.19	95.03±0.19	95.04±0.31	94.86±0.35	96.94±0.23	96.78±0.28
粗蛋白质 CP	36.77±1.50	29.67±1.05	27.59±0.87	26.33±1.25	31.38±1.43	29.95±1.09	28.35±0.53

粗脂肪 EE	3.18±0.38	2.44±0.38	1.51±0.17	1.76±0.18	2.09±0.36	2.74±0.38	2.46±0.24
粗灰分 Ash	24.44±2.12	19.58±1.95	16.31±1.56	17.40±2.13	18.11±1.24	17.24±0.99	15.74±0.99
粗纤维 CF	20.54±2.60	24.23±1.40	24.56±0.96	25.66±0.60	22.58±1.19	23.70±0.84	24.73±2.17
中性洗涤纤维 NDF	38.86±4.55	43.76±1.68	49.66±1.78	48.39±2.55	43.76±2.04	48.26±2.85	49.46±2.45
酸性洗涤纤维 ADF	13.35±2.43	23.96±1.19	29.35±0.94	29.09±3.12	26.87±0.98	33.02±2.04	36.08±1.81

2.2 不同醋糟和发酵醋糟替代比例对饲粮养分表观代谢率及表观代谢能的影响

由表 5 可知，饲粮的总能和干物质表观代谢率随醋糟替代比例的增加而下降，且各组间差异显著（P<0.05）。与组 1 相比，组 2、组 3 和组 4 饲粮的表观代谢能显著降低（P<0.05）；与组 2 相比，组 3 和组 4 饲粮的表观代谢能显著降低（P<0.05）。与组 1 相比，组 2、组 3 和组 4 饲粮的粗蛋白质和中性洗涤纤维表观代谢率显著降低（P<0.05）；与组 2 和组 3 相比，组 4 饲粮的粗蛋白质和中性洗涤纤维表观代谢率显著降低（P<0.05）。与组 1 相比，组 2、组 3 和组 4 饲粮的粗纤维表观代谢率显著提高（P<0.05）；与组 2 相比，组 3 和组 4 饲粮的粗纤维表观代谢率显著提高（P<0.05）。各组饲粮的粗脂肪和粗灰分表观代谢率差异显著（P<0.05），但与醋糟替代比例不呈规律变化。各组饲粮的酸性洗涤纤维表观代谢率无显著差异（P>0.05）。

由表 6 可知，饲粮的总能和干物质表观代谢率及表观代谢能随发酵醋糟替代比例的增加而下降，且各组间差异显著（P<0.05）。与组 1 相比，组 5、组 6 和组 7 饲粮的粗蛋白质表观代谢率显著降低（P<0.05）；组 7 饲粮的粗蛋白质表观代谢率较组 5 显著降低（P<0.05）。与组 1 和组 5 相比，组 6 和组 7 饲粮的粗脂肪和中性洗涤纤维表观代谢率显著降低（P<0.05）。与组 1 相比，组 5、组 6 和组 7 饲粮的粗纤维表观代谢率显著提高（P<0.05）；组 7 饲粮的粗纤维表观代谢率较组 5 和组 6 显著提高（P<0.05）。各组饲粮的粗灰分和酸性洗涤纤维表观代谢率无显著差异（P>0.05）。

表 5 不同醋糟替代比例对饲粮养分表观代谢率及表观代谢能的影响

Table 5 Effects of different vinegar residue substitution ratios on nutrient apparent metabolism rate and apparent metabolism energy of diets (n=8) %

项目 Items	组 1 Group 1	组 2 Group 2	组 3 Group 3	组 4 Group 4	*P* 值 *P*-value
总能 GE/(MJ/kg)	80.98±2.11^{a}	71.58±1.45^{b}	67.19±0.75^{c}	63.80±1.34^{d}	<0.000 1
表观代谢能 ME/(MJ/kg)	12.49±0.32^{a}	10.69±0.22^{b}	10.25±0.11^{c}	10.16±0.21^{c}	<0.000 1
干物质 DM	76.27±3.29^{a}	69.06±1.79^{b}	65.74±1.13^{c}	60.04±2.02^{d}	<0.000 1
粗蛋白质 CP	50.12±6.60^{a}	43.80±4.21^{b}	43.53±2.74^{b}	36.53±3.87^{c}	<0.000 1
粗脂肪 EE	81.84±3.76^{b}	78.22±4.05^{c}	85.99±1.58^{a}	80.33±2.65^{bc}	0.000 3
粗灰分 Ash	50.69±10.49^{ab}	51.54±6.42^{a}	57.93±5.18^{a}	42.47±9.82^{b}	0.008 9
粗纤维 CF	11.38±8.73^{c}	16.17±7.36^{b}	24.09±4.63^{a}	25.88±2.80^{a}	0.000 5
中性洗涤纤维 NDF	23.92±10.63^{a}	14.76±4.32^{b}	13.07±3.00^{b}	6.03±5.31^{c}	<0.000 1
酸性洗涤纤维 ADF	12.60±10.36	7.47±3.67	5.51±2.93	4.45±3.95	0.602 8

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（P>0.05），不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05). The same as below.

表 6 不同发酵醋糟替代比例对饲粮养分表观代谢率及表观代谢能的影响

Table 6 Effects of different fermented vinegar residue substitution ratios on nutrient apparent metabolism rate and apparent metabolism energy of diets (n=8) %

项目 Items	组 1 Group 1	组 5 Group 5	组 6 Group 6	组 7 Group 7	*P* 值 *P*-value
总能 GE/(MJ/kg)	80.98±2.11^{a}	71.61±1.17^{b}	67.63±1.00^{c}	63.33±1.18^{d}	<0.000 1
表观代谢能 ME/(MJ/kg)	12.49±0.32^{a}	11.14±0.18^{b}	10.75±0.16^{c}	10.23±0.19^{d}	<0.000 1
干物质 DM	76.27±3.29^{a}	69.00±0.95^{b}	64.79±1.00^{c}	60.74±1.65^{d}	<0.000 1
粗蛋白质 CP	50.12±6.60^{a}	44.15±3.13^{b}	40.23±2.38^{bc}	37.03±2.88^{c}	<0.000 1
粗脂肪 EE	81.84±3.76^{a}	83.38±2.97^{a}	76.34±3.61^{b}	76.14±3.07^{b}	<0.000 1
粗灰分 Ash	50.69±10.49	52.87±3.00	50.83±3.21	44.84±5.47	0.088 6
粗纤维 CF	11.38±8.73^{c}	21.90±3.89^{b}	22.31±5.80^{b}	28.56±6.64^{a}	0.000 8
中性洗涤纤维 NDF	23.92±10.63^{a}	21.40±5.25^{a}	9.58±6.30^{b}	13.02±4.86^{b}	0.001 0

酸性洗涤纤维 ADF	12.60±10.36	11.73±5.03	4.07±2.36	6.85±4.94	0.491 4

2.3 醋糟和发酵醋糟的可利用养分含量比较

由表 7 可知，醋糟和发酵醋糟的可利用养分含量无显著差异（P>0.05），但发酵醋糟的可利用养分含量有改善趋势。与醋糟相比，发酵醋糟的表观代谢能含量提高了 6.16%，可利用干物质含量提高了 21.61%，可利用蛋白质含量提高了 56.52%，可利用粗脂肪含量提高了 18.45%，可利用粗灰分含量提高了 10.97%，可利用粗纤维含量提高了 2.06%，可利用中性洗涤纤维含量提高了 49.04%，可利用酸性洗涤纤维含量提高了 115.93%。

表 7 醋糟和发酵醋糟的可利用养分含量

Table 7 The contents of available nutrients of vinegar residue and fermented vinegar residue

(n=8) %

项目 Items	醋糟 Vinegar residue	发酵醋糟 Fermented vinegar residue	P 值 P-value
表观代谢能 ME/(MJ/kg)	1.46±0.75	1.55±0.36	0.184 0
干物质 DM	5.23±2.12	6.36±3.77	0.201 6
粗蛋白质 CP	0.92±0.29	1.44±0.84	0.678 1
粗脂肪 EE	2.33±1.65	2.76±1.58	0.504 6
粗灰分 Ash	3.19±1.98	3.54±1.43	0.456 7
粗纤维 CF	14.59±3.83	14.89±4.53	0.711 8
中性洗涤纤维 NDF	4.71±4.00	7.02±3.52	0.292 5
酸性洗涤纤维 ADF	2.26±1.42	4.88±2.97	0.127 7

3 讨 论

套算法是测定单个饲料养分利用率的经典方法。本试验采用套算法测定醋糟和发酵醋糟的可利用养分含量，该法假定底料养分的消化率具有可加性，即试验饲粮中基础饲粮与醋糟或发酵醋糟的养分消化率保持不变。本试验采用醋糟或发酵醋糟替代 10%、15%或 20%的基础饲粮，测定饲粮养分表观代谢率及表观代谢能，研究表明，随着饲粮中醋糟或发酵醋糟替代比例的增加，各组饲粮的总能、干物质和粗蛋白质表观代谢率以及表观代谢能降低。这可能是由于随着醋糟或发酵醋糟替代比例的增加，饲粮中粗纤维含量提高，减少了

食糜在消化道内的停留时间，增加了流通速度，使饲粮中的养分不能被充分消化和吸收，从而降低了营养物质的利用率[14]。

我国的食醋产量逐年增加，醋糟产量也相应增多。醋糟酸性大、腐烂慢、不易处理，如不及时合理开发利用，很可能成为环境的一大污染源[15]。由于醋糟粗纤维含量较高，粗蛋白质含量较低，直接作为饲料原料饲喂畜禽的营养价值较低，所以在很大程度上限制了其在畜禽饲粮中的应用。而醋糟含有许多未被降解使用的粗纤维和非蛋白氮等成分，所以合理开发利用可以使其“变废为宝”。目前，利用微生物发酵是开发非常规饲料资源的主要技术手段。已有研究表明，黄孢原毛平革菌是研究最多并且具有很强的木质素降解能力的白腐真菌[16]，它能分泌木质素过氧化物酶，从而降解木质素[17]。康氏木霉能够分解纤维素且能够利用高纤维素含量的物质生产纤维素酶[18-19]。黑曲霉生长速度快，产酶周期短，是一种安全的菌种，能够利用高粗纤维含量物质发酵生产纤维素酶，且在发酵过程中不产生真菌毒素[20-22]。无花果曲霉是目前生产植酸酶的主要菌株，且被用于商品化植酸酶的生产。王志红[23]研究表明，无花果曲霉可以在不添加氮源和碳源的醋糟中生长并产生植酸酶。崔耀明[12]研究表明，醋糟利用黄孢原毛平革菌、康氏木霉、黑曲霉和无花果曲霉这 4 种菌经过最优条件发酵后，产物中羧甲基纤维素酶和木聚糖酶活性分别比单菌发酵时提高 418.99%和 507.45%。本试验采用套算法评价醋糟和发酵醋糟在蛋鸡上的营养价值，所使用的发酵醋糟是醋糟经过黄孢原毛平革菌、康氏木霉、黑曲霉和无花果曲霉混菌发酵而成，醋糟经微生物发酵后粗蛋白质含量提高了 14.24%，淀粉含量提高了 46.75%，粗纤维含量降低了 7.97%，纤维素含量降低了 6.12%，半纤维素含量降低了 68.06%。本试验研究结果表明，发酵醋糟的可利用养分含量较醋糟无显著差异，但在数值上均有提高，说明醋糟经过混菌发酵后能提高其养分在蛋鸡上的利用率。

4 结 论

用套算法评价醋糟和发酵醋糟在蛋鸡上的营养价值时，建议醋糟和发酵醋糟的替代比例为 20%。

参考文献:

[1] SONG Z T,DONG X F,TONG J M,et al.*In sacco* evaluation of ruminal degradability of waste vinegar residue as a feedstuff for ruminants[J].Animal Production

Science,2013,53(4):292–298.

[2] WANG Z H,DONG X F,ZHANG G Q,et al.Waste vinegar residue as substrate for phytase production[J].Waste Management & Research,2011,29(12):1262–1270.

[3] 田波,赵顺华,张俊红,等.醋糟资源化利用研究进展[J].中国酿造,2017,36(3):1–4.

[4] 王芳,上官明军,张变英,等.山西省醋糟资源现状及其在动物生产中的应用[J].畜禽业,2014(10):44–46.

[5] SONG Z T,DONG X F,TONG J M,et al.Effects of waste vinegar residue on nutrient digestibility and nitrogen balance in laying hens[J].Livestock Science,2012,150(1/2/3):67–73.

[6] SONG Z T,DONG X F,TONG J M,et al.Effects of inclusion of waste vinegar residue in the diet of laying hens on chyme characteristics and gut microflora[J].Livestock Science,2014,167:292–296.

[7] 花卫华,单昊书,徐志伟,等.醋糟对湖羊羔羊育肥效果的研究[J].安徽农业科学,2008,36(32):14105,14112.

[8] 马希景,李中利.醋糟饲喂肉兔的效果试验[J].中国养兔杂志,2003(4):14–15.

[9] 曹亮.日粮中不同醋糟添加水平对獭兔的影响研究[D].硕士学位论文.太谷:山西农业大学,2014:8–21.

[10] 陈永霞,单昊书,王寿宽,等.干醋糟饲喂肉猪试验[J].上海畜牧兽医通讯,2008(1):35.

[11] 杨庆文,彭晓光,杨林娥,等.醋糟的开发与利用[J].山西农业科学,2009,37(2):44–46.

[12] 崔耀明.山西老陈醋醋糟混菌发酵菌种筛选及其发酵条件优化[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2015.

[13] 周安国,陈代文.动物营养学[M].3 版.北京:中国农业出版社,2011:148–150.

[14] CHERBUT C,AUBE A C,MEKKI N,et al.Digestive and metabolic effects of potato and maize fibres in human subjects[J].British Journal of Nutrition,1997,77(1):33–46.

[15] 吴端钦,贺志雄.醋糟在动物营养中应用的研究进展[J].饲料博览,2011 (5):50-51.

[16] BELINKY P A,FLIKSHTEIN N,LECHENKO S,et al.Reactive oxygen species and induction of lignin peroxidase in *Phanerochaete chrysosporium*[J].Applied and Environmental Microbiology,2003,69(11):6500–6506.

[17] TIEN M,KIRK T K.Lignin-degrading enzyme from the hymenomycete *Phanerochaete chrysosporium* Burds[J].Science,1983,221(4611):661–663.

[18] WANG C H,HSEU T H,HUANG C M.Induction of cellulase by cello-oligosaccharides in *Trichoderma koningii* G-39[J].Journal of Biotechnology,1988,9(1):47–59.

[19] 邹德勋,郑瑾,刘瑛颖,等.康氏木霉利用废酒糟产纤维素酶的研究[J].太阳能学报,2012,33(3):355–358.

[20] SOHAIL M,SIDDIQI R,AHMAD A,et al.Cellulase production from *Aspergillus niger* MS82:effect of temperature and pH[J].New Biotechnology,2009,25(6):437–441.

[21] SCHUSTER E,DUNN-COLEMAN N,FRISVAD J C,et al.On the safety of *Aspergillus niger*–a review[J].Applied Microbiology and Biotechnology,2002,59(4/5):426–435.

[22] DRIOUCH H,HÄNSCH R,WUCHERPFENNIG T,et al.Improved enzyme production by bio-pellets of *Aspergillus niger*:targeted morphology engineering using titanate microparticles[J].Biotechnology and Bioengineering,2012,109(2):462–471.

[23] 王志红.无花果曲霉利用醋糟产植酸酶发酵条件与植酸酶分离纯化及性质的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2009:5–15.

Evaluation of Nutrient Value of Vinegar Residue and Fermented Vinegar Residue for Laying Hens

YANG Yaoxiang DONG Xiaofang* TONG Jianming

(*Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing* 100193, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to compare and evaluate nutrient value of vinegar residue (VR) and fermented vinegar residue (FVR) for laying hens. Fifty-six 47-week-old Hy-Line Brown laying hens were randomly allocated to 7 groups with 8 replicates per group and 1 hen per replicates. Hens in group 1 (control group) were fed a corn-soybean meal basal diet, those in groups 2 to 4 were fed the experimental diets substituted the basal diet for 10%, 15% and 20% VR, respectively, and those in groups 5 to 7 were fed the experimental diets substituted the basal diet for 10%, 15% and 20% FVR, respectively. The metabolic experiment lasted for 6

*Corresponding author, associate professor, E-mail: xiaofangd1124@sina.com （责任编辑 李慧英）

days after 5 days pre-test. The results showed that: the apparent metabolism rates of total energy and dry matter of diets were decreased with VR or FVR substitution ratios increasing, and there were significant differences among all groups ($P<0.05$). Compared with control group, different VR or FVR substitution ratios significantly decreased the apparent metabolism energy and the apparent metabolism rate of crude protein of diets ($P<0.05$), and significantly increased the apparent metabolism rate of crude fiber of diets ($P<0.05$). The contents of available nutrients of VR and FVR were determined by substitution method, compared with VR, the contents of available nutrients of FVR were no significant differences ($P>0.05$), but had an increasing trend. It is indicated that nutrient availabilities of VR for laying hens are improved by fermentation with multi-strains. The nutrient values of VR and FVR for laying hens are determined by substitution method, it is suggested that substitute ratio of VR and FVR is 20%.

Key words: vinegar residue; fermented vinegar residue; laying hens; nutrient value